



# 비골을 이용한 3차원적 하악골 재건 시 가상모의수술 및 입체조형기법을 이용한 골절단 가이드의 활용: 증례보고

남 웅, Nicholas Makhoul<sup>1</sup>, Brent Ward<sup>1</sup>, Joseph I. Helman<sup>1</sup>, Sean Edwards<sup>1</sup>

연세대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, <sup>1</sup>미시건대학교 치과대학 구강악안면외과학교실

## Abstract

### Virtual Surgical Planning and Stereolithography-guided Osteotomy for 3 Dimensional Mandibular Reconstruction with Free Fibula Osseous Flaps: A Case Report

Woong Nam, Nicholas Makhoul<sup>1</sup>, Brent Ward<sup>1</sup>, Joseph I. Helman<sup>1</sup>, Sean Edwards<sup>1</sup>

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Yonsei University College of Dentistry,

<sup>1</sup>Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University of Michigan College of Dentistry

The osseous or osteocutaneous free fibula flap has become the gold standard for most mandibular reconstructions because of its favorable osseous characteristics. However, disadvantages, such as the time-consuming reconstructive step, difficulty in performing the osteotomies to precisely recreate the shape of the missing segment of mandible and poor bone-to-bone contact play a role in making the surgeons look for alternative flaps. With the advent of computerized design software, which accurately plans complex 3-dimensional reconstructions, has become a process that is more efficient and precise. However, the ability to transfer the computerized plan into the surgical field with stereolithographic models and guides has been a significant development in advancing reconstruction in the maxillofacial regions. The ability to "pre-plan" the case, mirror and superimpose natural structures into diseased and deformed areas, as well as the ability to reproduce these plans with good surgical precision has decreased overall operative time, and has helped facilitate functional and esthetic reconstruction. We describe a complex case treated with this technique, showing the power and elegance of computer assisted maxillofacial reconstruction from the University of Michigan, Oral and Maxillofacial Surgery.

**Key words:** Virtual surgical planning, Stereolithography, Fibula

원고 접수일 2012년 6월 12일, 원고 수정일 2012년 7월 31일,  
게재 확정일 2012년 8월 27일

책임저자 남 웅

(120-752) 서울시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 치과대학 구강악안면외과학교실  
Tel: 02-2228-2971, Fax: 02-2227-8022, E-mail: seanedwa@med.umich.edu

RECEIVED June 12, 2012, REVISED July 31, 2012,  
ACCEPTED August 27, 2012

Correspondence to Woong Nam

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Yonsei University College of Dentistry  
50, Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea  
Tel: 82-2-2228-2971, Fax: 82-2-2227-8022, E-mail: seanedwa@med.umich.edu

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

하악골의 재건은 미세재건술이 도입된 이후에도 여전히 어려운 데, 그 이유는 하악골이 기능 및 하안면부의 미적 조화 측면에 있어서 아주 중요한 부분을 차지하고 있기 때문이다[1-3]. 이러한 하악골의 재건에 있어서 그동안 다양한 방법 및 재료가 이용되어져 왔으나[2,4,5], 최근에는 우수한 골성 특징을 가진 혈관화 유리 비골피판이 하악골 재건에 있어 일차적으로 선택되고 있다[6-8].

그동안 일직선 형태로 끝은 비골피판을 하악골의 형태에 맞추어 록 적합시키려는 노력이 다방면으로 진행되어져 왔고[5,9], 최근에는 증강현실(augmented reality)[10,11] 및 컴퓨터를 이용한 술중 네비게이션(computer-assisted intraoperative navigation)의 도입과 3차원적인 술 전 치료계획의 설정[1,12]이 가능해졌음에도 불구하고, 비골피판을 이용한 하악골의 재건은 여전히 어려운데, 그 이유는 비골을 이용해 하악골의 형태를 잡는 것이 아직도 술자의 경험에 많이 의존하고 있고, 골 절단면의 예측이 어렵기 때문이다[2]. 이론적으로, 수술시 이용되는 금속재 건판의 형태는 결국 원래의 하악골 또는 컴퓨터상에서 재건한 하악골의 바깥쪽 피질골을 따르게 되는데, 이러한 이유로 하악골 재건 시, 특히 중심부에서는 원래의 형태보다 항상 작아지게 되며, 골과 골 사이의 긴밀한 접촉(bone-to-bone contact)도 얻기 힘들다. 게다가 스크류를 조이게 되면 각 골편들이 바깥쪽으로 움직이게 되어 서로간에 떨어지는 결과를 초래하기도 한다[13]. 이외에 긴 수술시간 역시 이러한 문제를 더욱 어렵게 하는 요소로 생각되고 있다[2].

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 보다 정교하게 조절된 가상모의 수술계획(virtual surgical planning)으로 술 전에 3차원적인 수술계획을 세우고, 술중 입체조형물과 골절단 가이드를 통해 보다 향상된 골과 골 사이의 접촉이 가능하도록 하는 입체조형물을 이용한 골절단 기법(stereolithography-guided osteotomy)으로 성공적으로 치유된 미시건 치과대학 구강악안면 외과 환자의 증례와 그 기법들을 소개하고자 한다.

## 증례보고

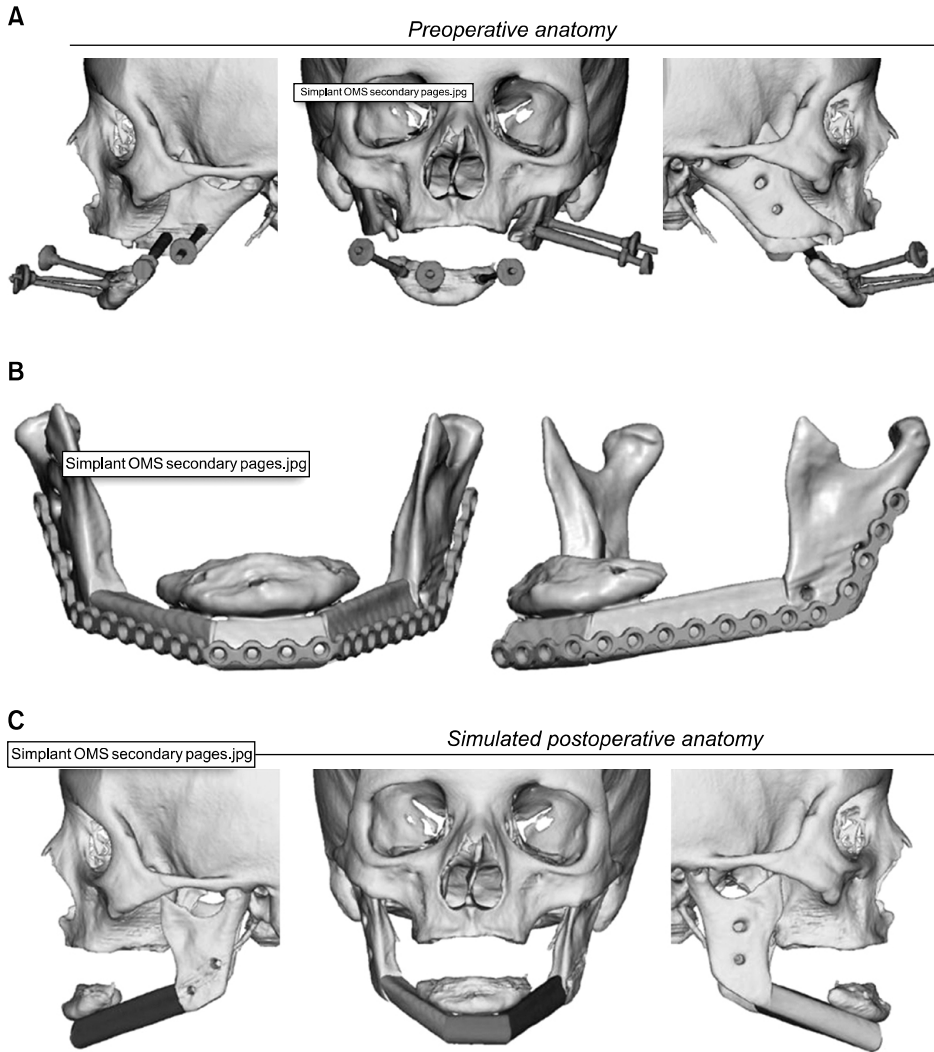
38세 여자환자가 자동차 사고로 양측 하악골 골절이 되어 내원하였다. 구강 내는 무치악이었으며, Crohn's disease 병력과 만성 스테로이드 복용, 심한 하악골 위축을 동반하고 있었다. 따라서 초기 치료는 관혈적 정복술 및 내고정술로 이루어졌다. 술 후 골수염이 동반되었으며, 장기간의 항생제 치료 및 외부 고정장치(external fixator)가 장착되었다. 골수염이 완치된 후 하악골 재건을 위해 본과에 다시 내원하였다(Fig. 1).

안면 우측에 장착되었던 외부 고정장치(external fixator)가 실패하면서 하악골의 형태가 소실되었다. 미시건대학교 구강악안면 외과 수술팀은 다음과 같은 과정으로 치료를 진행하였다. 우선 환자의 두정부 수술부위와 비골부위의 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT)을 시행한 후, Medical Modeling Inc. 측에 CT 이미지를 전송, 3차원적인 이미지로 변환하였다. 수술팀은 컴퓨터상에서 Simplant 프로그램을 이용, 3차원적인 가상모의수술(virtual surgery)을 시행하면서 골절단부를 결정하고, 비골 이미지를 중첩시켜 재건할 하악골(neomandible)을 설계하였다. 이 과정에서 수술팀은 본 환자 하안면부의 수직, 관상 및 시상면을 재설정하였으며, 과두와 하악지의 생리적 위치도 재설정하였다(Fig. 2).

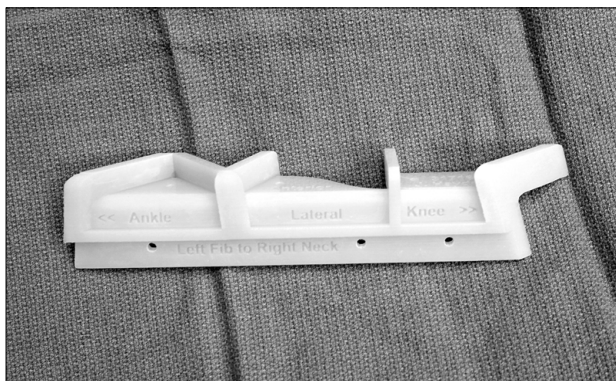
상기한 과정을 모두 시행한 후 파일의 형태로 전송, 입체조형기법(stereolithographic manufacturing)으로 재현된 두개모형(skull)을 받았고, 부가적으로 받은 비골 절단 가이드(fibular cutting guide)와 비골로 재건된 하악골 모형에 술중 사용할 금속재 건판을 미리 적합(precontouring)해 보았다. 2팀 동시수술(2-team approach)에 의해 안면부 수술이 진행되는 동안 재건을 담당한 수술팀이 혈관화 유리비골 피판의 거상과 비골 절단 가이드(fibular cutting guide) (Fig. 3)를 이용한 정교한 골절단까지 모두 완료한 후 피판을 안면으로 옮겨 미리 적합한 금속재건판에 피판을 고정하고, 미세혈관문합을 시행하였다. 본 환자의 경우 혈관화 비골피판을 이용하여 한쪽 하악각에서부터 반대쪽 하악각



**Fig. 1.** (A) Frontal view. (B) Lateral view. A 38-year-old woman with mandibular fracture combined with edentulism and atrophic mandible. She also had Crohn's disease and chronic steroids medication. Initial treatment was comprised of open reduction and internal fixation. However, external fixator was attached and long-term antibiotics therapy was done due to postoperative osteomyelitis. Right-side external fixator was lost and virtual surgical planning and stereolithography-guided osteotomy for 3 dimensional mandibular reconstruction with free fibula osseous flaps was initiated.



**Fig. 2.** (A) Three-dimensional reconstruction of high-resolution computed tomography scan of craniofacial skeleton. (B) Plate adapted to proposed neomandible. (C) Planning of fibular osteotomies.



**Fig. 3.** Fibular cutting guide.

까지 재건하였고, 잔존하던 전치부 골편은 비골 위쪽으로 고정하여 전방 비골피판의 높이를 증가시켰으며, 앞으로의 구강내 치료를 위한 전정부의 형태와 깊이를 유지하기 위해 보존하였다(Fig. 4).

술 후 양호한 경과를 보였으며, 술 후 10일째 퇴원하였다.

술 후 컴퓨터단층촬영(CT)과 파노라마사진(pantomogram)에서 모두 술 전 수술계획과 동일한 결과를 보여주고 있으며(Fig. 5, 6), 현재 의치를 이용한 구강내 치료를 위해 내원중이며 지속적인 경과관찰 중에 있다.

## 고 찰

컴퓨터를 이용한 가상모의수술 및 입체조형물을 이용한 3차원적 하악골재건기법(virtual surgical planning and stereolithography-guided osteotomy for 3 dimensional mandibular reconstruction)은 다음의 4가지 단계로 이루어진다. 즉, 술 전 계획단계(planning Phase), 모델제작단계(modeling phase), 수술재건단계(surgical phase), 그리고 마지막 술 후 평가단계(evaluation phase)[2,14]. 2009년 Hirsch 등[2]은 술 후 평가단계(evaluation phase)를 포함시키지 않았지만, 2012년 Levine 등[14]은 환자에게 이용된 이러한 기법들을 평가하고 술

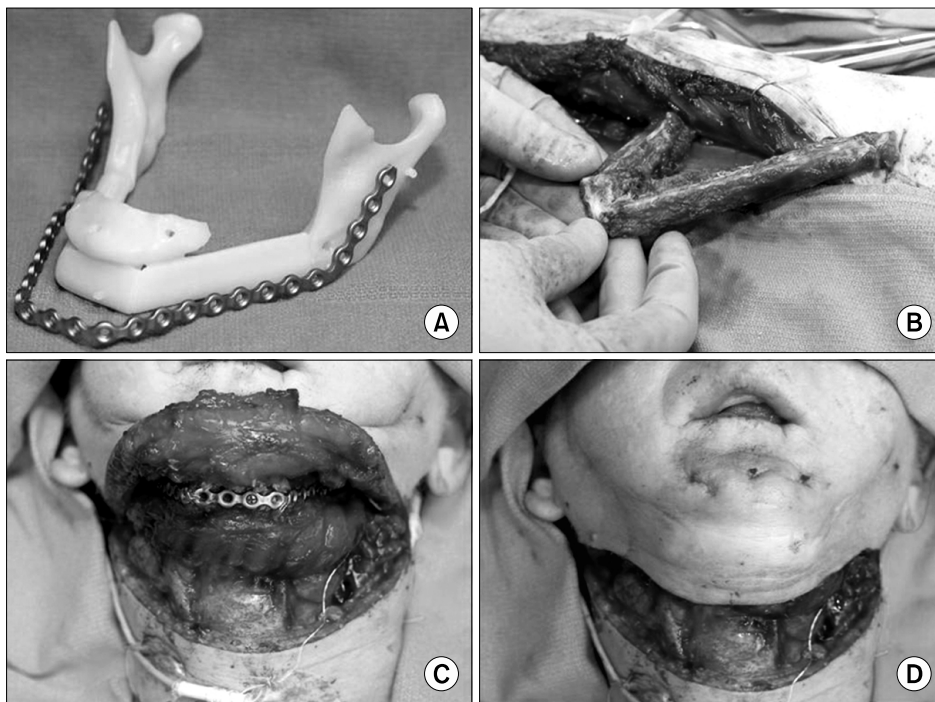


Fig. 4. (A) Stereolithographic model of neomandible and preadapted plate. (B) Fibula free flap is harvested while the flap continues to be perfused and shaped according to the length of the template. (C) Plate fixed to residual mandible and the pre-shaped fibula flap is then fixed to the plate. (D) Revascularization of free fibula flap.

후 결과를 향상시키기 위해서 술 후 평가단계(evaluation phase)를 포함시켰고, 평가결과 수술의 정확도는 1~5 mm 이내로 정확하고 우수하였다고 보고하였다.

특히 이러한 기법은 혈관화 유리비골피판을 이용한 하악골의 재건에 특히 유용한데, Hidalgo 등의 초기 임상발표[6-8] 이후 하악골 재건의 표준이 된 혈관화 유리 비골피판은 2팀 동시수술이 가능하고, 비교적 직경이 큰 혈관과 다수의 골절단이 가능케 하는 혈관계, 그리고 전하악골 재건(near-total mandibular reconstruction)이 가능한 충분한 길이 등의 장점을 가진 동시에, 그동안 하악골 재건을 위한 정확한 골절단 및 접합이 어려워 수술시간이 길어졌던 단점 등을 충분히 보완할 수 있었기 때문이다.

술 전 계획단계(planning phase)는 수술팀과 소프트웨어 제작기술팀과의 원활한 의사소통을 바탕으로 하악골 절제의 범위를 결정하고, 남아있는 하악골과 두개안면골격과의 관계에 맞도록 비골을 위치시키는 과정, 즉 가상모의수술(virtual surgery) 과정을 포함한다. 가상 골절단(virtual osteotomies)을 통해 술 후 bony union을 위한 최적의 골침착이 가능하도록 하고 술중 비골을 위치시키고 고정하는 과정을 용이하도록 한다.

모델제작단계(modeling phase)는 술 전 계획단계에서 이루어진 가상모의수술(virtual surgery)의 자료를 바탕으로, 입체조형물(stereolithographic model)을 제작하는데, 이는 수련의나 학생들에게 골절제 범위와 그 질환에 대한 교육적인 정보도 제공할 뿐만 아니라, 골절단 가이드(cutting guide)를 함께 위치시켜 봄으로써 술중 정확한 골절단 위치에 대한 정보도 제공해준다. 또한 가상모의수술 시 위치시킨 비골상에 재건판을 미리 적합시켜 수술

에 이용함으로써 수술시간을 줄일 수 있고, 혈관화 유리비골 재건술 시 가장 시간이 많이 소요되는 비골절단 과정을 단축시킬 수 있다. 이러한 모델제작과정이 없는 1세대의, 컴퓨터를 이용한 가상모의 수술(virtual surgery)이나 술중 네비게이션(intraoperative navigation) 기법들은 술자에게 시각적인 정보만을 제공할 뿐이지만, 2세대라 불리는 신속조형기법(rapid prototyping technique)이나 3차원적인 입체조형물의 제작(3D stereolithography) 기법은 술자에게 부가적인 '촉각(haptic)' 정보까지 제공해주어 수술시 매우 편리하다.

수술재건단계(surgical phase)에서는 주로, 실제적인 하악골의 절제와 기존에 이용되던 Marchetti 등[5]의 방법을 이용해 상하악 관계를 일시적으로 유지시킨 후 미리 적합시켰던 재건판을 하악골에 부착시킨다. 또한 모델제작단계(modeling phase)에서 준비되었던 골절단 가이드(cutting guide)를 이용하여 비골을 절단하면 수술시간을 단축시킬 수 있다. 이후 과정은 통상적인 미세혈관문합수술 및 혈관화 유리 비골피판의 고정과정, 봉합 등을 포함한다.

마지막으로 술 후 평가단계(evaluation phase)를 통해 이전의 모든 단계를 재점검하고 수술의 정확도를 평가, 수술기법을 개선하도록 한다.

이러한 기법은 현재 양성, 악성종양 수술 후의 두경부 재건뿐만 아니라, 악교정 수술, 악안면 외상, 측두하악관절 및 두개저 수술 등 다양한 방면으로 응용되고 있는데[14], 본 논문에서 소개된 환자는 전신적인 만성질환과 위축된 하악골의 골절, 골수염 및 장기간의 항생제 복용 등의 복합적인 문제가 있었던 경우로, 치료

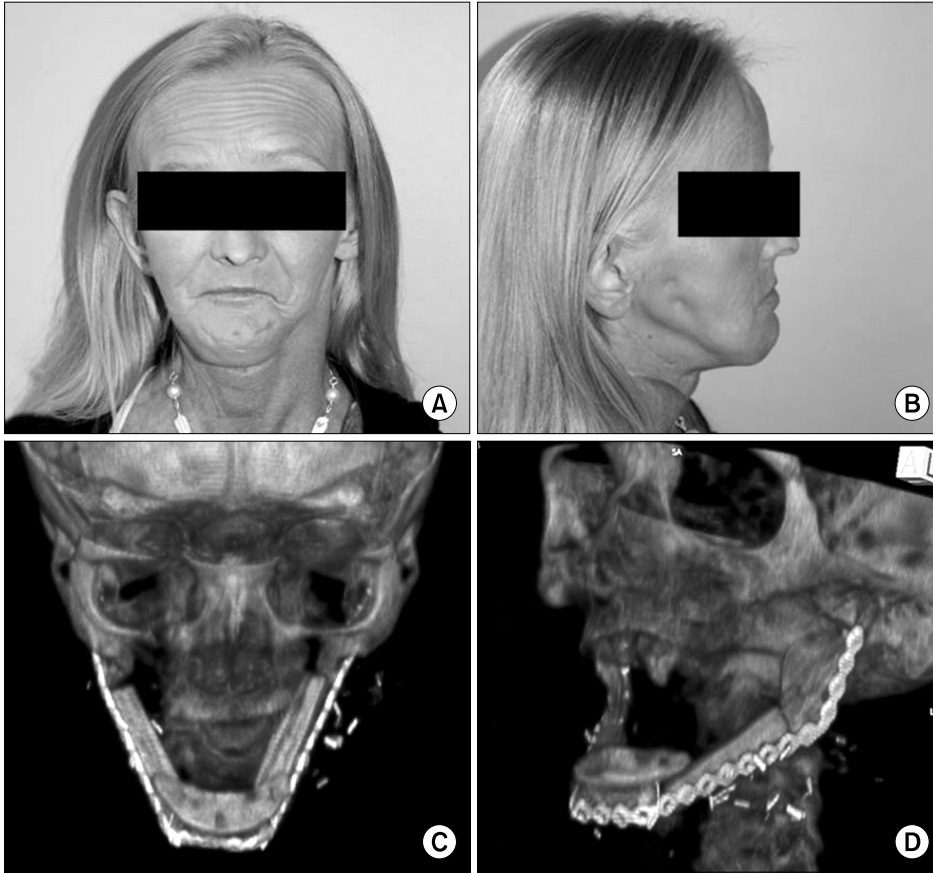


Fig. 5. Postoperative view. (A) Frontal, (B) lateral, (C) & (D) 3-dimensional tomographic images.

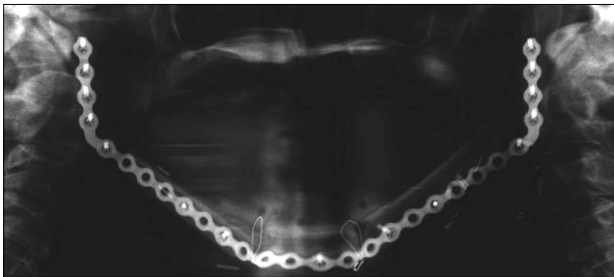


Fig. 6. Postoperative panorex view.

계획으로서는 골절부위를 안정시키고, 골수염이 동반된 창상에 혈류를 공급해줌으로써 골절부위로 골형성 세포를 유도해주어야 하는 어려움이 있었다.

만일, 결손부위가 작은 것만 고려하여 비혈관화 자가골이식만 시행하였다면, 불량한 이식골 주위환경으로 인해 이식된 골이 괴사되었거나 불량한 술 후 결과를 초래하였을 것으로 생각한다.

하지만, 이러한 증례에 앞서 언급한 기법들을 적용함으로써 환자와 술자 모두 만족스러운 술 후 결과를 얻을 수 있었으며, 수술시간 또한 크게 단축할 수 있었다.

본 증례에서 살펴본 바와 같이 컴퓨터를 이용한 가상모의수술 및 입체조형물에 의한 3차원적 하악골재건기법(virtual surgical

planning and sterelithography-guided osteotomy for 3 dimensional mandibular reconstruction)은 비교적 최근에 이르러서야 활발히 사용되기 시작했으며, Hirsch 등[2]은 이 기법의 또 다른 장점들을 다음과 같이 기술하였다. 첫째로, 실제와 같은 크기로 제작된 모델을 이용함으로써 술 전에 이공(mental foramen)과 같은 해부학적 중요 구조물들을 고려한 최적의 절제범위의 설정이 가능하다는 점, 두 번째로, 술 전에 가상수술을 통해 비골로 새롭게 만들어진 하악골(planned neomandible model) 상에 재건판을 미리 적합(premolded)해 봄으로써 수술시간을 단축시킬 수 있다는 점, 실제로 재건팀이 혈관화 유리 비골피판을 거상하는 동안 수련의들이 수술에 사용될 재건판을 제작된 모델에 적합시킬 수 있었다. 마지막으로 환자들에게 현재의 문제점과 재건의 어려움을 설명하고 이해시키는 데 큰 도움을 줄 수 있었다는 점, 반면 비교적 높은 비용이 든다는 점과 술중 절제범위가 달라질 경우에 신속하게 변경할 수 없다는 점은 이 기법의 극복해야 할 단점으로 생각되었으며, 차후 술중 네비게이션 기법의 도입 [10,15]과 역시 절제범위가 달라질 경우를 대비한 술중 모델제작 기법의 개발 등이 보다 나은 술 후 결과를 위해 반드시 필요할 것으로 생각하였다.

## References

1. Hallermann W, Olsen S, Bardyn T, Taghizadeh F, Banic A, Iizuka T. A new method for computer-aided operation planning for extensive mandibular reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 2006;117:2431-7.
2. Hirsch DL, Garfein ES, Christensen AM, Weimer KA, Saddeh PB, Levine JP. Use of computer-aided design and computer-aided manufacturing to produce orthognathically ideal surgical outcomes: a paradigm shift in head and neck reconstruction. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:2115-22.
3. Sharaf B, Levine JP, Hirsch DL, Bastidas JA, Schiff BA, Garfein ES. Importance of computer-aided design and manufacturing technology in the multidisciplinary approach to head and neck reconstruction. *J Craniofac Surg* 2010;21:1277-80.
4. Pogrel MA, Podlesh S, Anthony JP, Alexander J. A comparison of vascularized and nonvascularized bone grafts for reconstruction of mandibular continuity defects. *J Oral Maxillofac Surg* 1997;55:1200-6.
5. Marchetti C, Bianchi A, Mazzoni S, Cipriani R, Campobassi A. Oromandibular reconstruction using a fibula osteocutaneous free flap: four different "preplating" techniques. *Plast Reconstr Surg* 2006;118:643-51.
6. Hidalgo DA, Pusic AL. Free-flap mandibular reconstruction: a 10-year follow-up study. *Plast Reconstr Surg* 2002;110:438-49.
7. Cordeiro PG, Disa JJ, Hidalgo DA, Hu QY. Reconstruction of the mandible with osseous free flaps: a 10-year experience with 150 consecutive patients. *Plast Reconstr Surg* 1999;104:1314-20.
8. Hidalgo DA. Fibula free flap: a new method of mandible reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 1989;84:71-9.
9. Wang TH, Tseng CS, Hsieh CY, *et al*. Using computer-aided design paper model for mandibular reconstruction: a preliminary report. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:2534-40.
10. Ewers R, Schicho K. Augmented reality telenavigation in cranio maxillofacial oral surgery. *Stud Health Technol Inform* 2009;150:24-5.
11. Juergens P, Krol Z, Zeilhofer HF, *et al*. Computer simulation and rapid prototyping for the reconstruction of the mandible. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:2167-70.
12. Rana M, Essig H, Eckardt AM, *et al*. Advances and innovations in computer-assisted head and neck oncologic surgery. *J Craniofac Surg* 2012;23:272-8.
13. Leiggener C, Messo E, Thor A, Zeilhofer HF, Hirsch JM. A selective laser sintering guide for transferring a virtual plan to real time surgery in composite mandibular reconstruction with free fibula osseous flaps. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:187-92.
14. Levine JP, Patel A, Saadeh PB, Hirsch DL. Computer-aided design and manufacturing in craniomaxillofacial surgery: the new state of the art. *J Craniofac Surg* 2012;23:288-93.
15. Ewers R, Schicho K, Undt G, *et al*. Basic research and 12 years of clinical experience in computer-assisted navigation technology: a review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2005;34:1-8.